
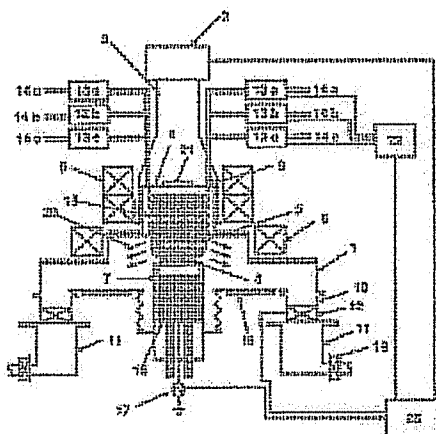


**No title available****Publication number:** JP5267226 (A)**Publication date:** 1993-10-15**Inventor(s):****Applicant(s):****Classification:****- international:** H01L21/302; H01L21/3065; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/302**- European:****Application number:** JP19920065742 19920324**Priority number(s):** JP19920065742 19920324**Also published as:** JP3158612 (B2)**Abstract of JP 5267226 (A)**

**PURPOSE:**To improve throughput by specifying the exhaust speed of a pump, the conductance of an exhaust line, and the effective exhaust speed of the whole system. **CONSTITUTION:**The exhaust line of a dryetching system is so constructed that the exhaust speed of a pump 11 is 2500-l/s, preferably 4000-l/s, conductance of an exhaust line 2000-l/s, preferably 3000-l/s, and the effective exhaust speed of the whole system 1300-l/s. The capacity of the dryetching system is so designed that the time of gas residence is 100ms or less. And, a discharge means and a means to change exhaust speed are batch-controlled along with a gas flow controller 13. This design enables high-precision etching with high throughput.



---

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-267226

(43)公開日 平成5年(1993)10月15日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
H 0 1 L 21/302

識別記号 庁内整理番号  
B 7353-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6(全11頁)

(21)出願番号 特願平4-65742

(22)出願日 平成4年(1992)3月24日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 組橋 孝生

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 辻本 和典

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 田地 新一

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

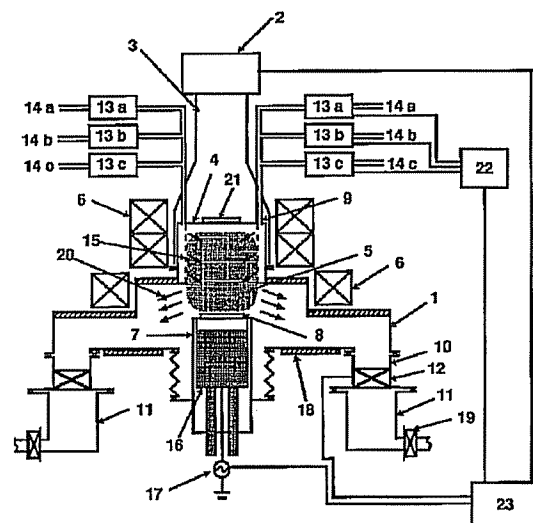
(54)【発明の名称】 ドライエッチング装置およびドライエッチング方法

(57)【要約】

【構成】ポンプの排気速度を2000 l/s以上とし、排気系のコンダクタンスを2000 l/s以上とすることにより実効排気速度を1300 l/sとし、ガスの滞在時間が100ms以下にし、ガス滞在時間と同程度の応答速度のガス流量コントローラを設ける。

【効果】タイムモジュレーションエッチングにおいて側壁形状を平坦にすることができる。またタイムモジュレーション、マルチステップ、静電吸着の着脱等のガス切り替えに要する時間を短縮してスループットが向上する。

図1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】真空処理室内に処理ガスを導入する少なくとも一つの手段を有し、前記処理ガス導入手段に少なくとも一つのガス流量調整手段を設け、ガスを前記真空処理室外に排気する手段、排気コンダクタンスを可変にして排気速度を変える手段を有し、高周波放電またはマイクロ波放電手段を有し、前記放電手段により発生させたガスプラズマを用いて前記真空処理室内に設置した試料を処理するドライエッチング装置において、前記排気手段に実効総排気速度が $1300\text{ l/s}$ 以上になる排気ポンプを用い、前記処理ガスの真空処理室内滞在時間を $100\text{ ms}$ 以下にし、前記ガス流量調整手段と前記排気速度を変える手段と前記放電手段の動作とを制御する手段を有し、前記ガス流量調整手段が一定流量を保持できる最短時間を $50\text{ ms}$ 以下、かつガス露出量を $10\text{ ラングミュア}$ 以下にすることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項2】請求項1において、少なくとも1種のガスを所定の時間間隔で周期的にかつ間欠的に流れるよう制御するドライエッチング方法。

【請求項3】真空処理室内に処理ガスを導入する少なくとも一つの手段を有し、前記処理ガス導入手段に少なくとも一つのガス流量調整手段を設け、ガスを前記真空処理室外に排気する手段、排気コンダクタンスを可変にして排気速度を変える手段を有し、高周波放電またはマイクロ波放電手段を有し、前記放電手段により発生させたガスプラズマを用いて前記真空処理室内に設置した試料を処理するドライエッチング方法において、少なくとも1種のガスを所定の時間間隔で周期的にかつ間欠的に流れるように制御し、エッチングステップと膜形成ステップの繰返しを行ない、エッチングステップ時のエッチング量を該試料の $10\text{ 原子層}$ 以下とすることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項4】請求項1において、前記試料の観察手段を有するドライエッチング装置。

【請求項5】請求項1、2または4において、前記ガス流量調整手段が一定流量を保持する最短時間が $10\text{ ms}$ 以下であるドライエッチング方法。

ガス滞在時間＝装置の容積／実効排気速度

で求められる。従来の装置ではガス滞在時間が $0.4\sim 3\text{ s}$ であった。ガス切り替えに要する時間はガス滞在時間よりも長くなるので、従来のドライエッチング装置およびドライエッチング方法ではこのガスの切り替えに $1\text{ s}$ 以上必要だった。

【0005】ガス滞在時間が $25\text{ ms}$ と短いドライエッチング装置がジャーナル オブ バキュームサイエンティフィック テクノロジー B8(1990)1185頁(J. Vac. Sci. Technol. B8(1990)p. 1185)に報告されている。この装置は電極間の体積が $2\text{ l}$ 程度であり、装置の実効排気速度は $80\text{ l/s}$ 程度

【請求項6】請求項1において、前記ガス流量調整手段としてピエゾバルブを用いるドライエッチング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はドライエッチング装置およびドライエッチング方法に関し、特に、高異方性、高速エッチングを高スループットで行なうのに好適なドライエッチング装置およびドライエッチング方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来のドライエッチング装置は異方性加工を行うために、エッチングガスを切り換えてエッチングを行っていた。例えば、特開昭61-61423号や特開昭63-65628号公報では第1の工程で異方性エッチングをし、第2の工程で側壁保護膜を形成し、第3の工程で等方性エッチングと、各々の工程でガスを切り換えてエッチングをする。また特開昭60-50923号や特開平2-105413号公報では数秒間隔でエッチング性ガスとデポジション性ガスを切り換える、タイムモジュレーションエッチングにより異方性加工を実現する。また特開平2-270320号公報では低温エッチングでの温度制御性を向上して異方性を上げるために、静電吸着によりウェハを固定する。静電吸着でウェハを固定したり、固定したウェハをはずすためにはプラズマによる放電が必要であり、精度良くエッチングをするためには不活性ガスにガスを切り換えてから放電する方がよい。以上のように異方性エッチングを行うときにはガスの切り換えが必須になっている。

【0003】ガスの切り換えを効率よく行うためには、排気能力が高い方がよい。従来のドライエッチング装置の排気系の構成はポンプ容量が $1000\text{ l/s}$ 、排気系のコンダクタンスが $200\sim 1000\text{ l/s}$ であり、装置全体の実効排気速度は $100\sim 500\text{ l/s}$ であった。また従来のドライエッチング装置の容積は $200\sim 300\text{ l}$ であった。

【0004】排気能力の一つの目安は、ガスが流入してから排気されるまで容器内に滞在する時間である。このガス滞在時間は、

…(1)

である。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】ガス切り換え時には、切り換え前後のガス混合によるエッチング特性劣化を抑えるために、容器内のガスを排出しなければならない。ガス切り換え時には排出するガスの分圧減少に伴い、実効的な排気効率が落ちる。そのため排出に要する時間はガスの滞在時間の数倍になる。

【0007】従来のドライエッチング装置では滞在時間は $0.4\sim 3\text{ s}$ 程度あった。すなわち、ガス切り換えには $1\text{ s}$ 以上の時間を要する。そのためにタイムモジュレ

ーションエッチングではエッチングステップ・デポジョンステップともに1ステップは数秒のステップ時間になる。

【0008】上述のような従来技術では、ステップ時間が数秒間になると、エッチングステップ中のサイドエッチングにより、側壁に段差構造が生じる、ガスの切り替えに時間がかかるために、エッチングのスループットが落ちる、エッチング装置に試料観察手段を設けてエッチング中に形状観察するためにはガスを止めて圧力を下げなければならなかったため、形状観察をしながらエッチングを行なうとスループットが落ちる、などの問題があ

$$\text{実効排気速度} \times 100 \text{ ms}$$

の値よりも容積を小さくした。

【0011】また少なくとも一つのガス導入系を設け、そこに設けるガス流量コントローラとして、一定流量を保持できる最短時間が50ms以下のものを用いた。またガス流量コントローラ、放電手段、排気速度を制御する手段を一括制御器で制御するようにした。また試料を観察する手段を設けた。

【0012】

【作用】エッチング中にガスAのエッチングからガスBのエッチングに切り換える時には、ガスAを十分排出し

$$dP/dt = -SP/V$$

の微分方程式に従う。図2に示したようにガス停止時間を $t=0$ として上式を解くと、ガス圧力が排出後圧力に

$$\text{排出時間} = (V/S) \ln(\text{排出前圧力}/\text{排出後圧力}) \quad \dots (4)$$

ここで $(V/S)$ はガスの滞在時間であるから、

$$\text{排出時間} = \text{滞在時間} \times \ln(\text{排出前圧力}/\text{排出後圧力}) \quad \dots (5)$$

となる。

【0015】容器外に排出したガスの割合と、 $\ln(\text{排出前圧力}/\text{排出後圧力})$ との関係を図4に示した。ガスを停止してからガスの滞在時間だけ排気しても、全体の60%のガスしか排出されない。例えば、ガスの95%を排出するときには、 $\ln(\text{排出前圧力}/\text{排出後圧力})$ は4である。すなわち、滞在時間の4倍の時間排気しなければ、ガスの95%を排出できない。

【0016】従来のドライエッチング装置では滞在時間が1s程度なので、排出時間は数秒必要だった。本発明では実効排気速度を1300 1/sとし、滞在時間が100ms以下になるようにしたために、排出時間を従来の1/10程度短くできた。その結果、ガス切り換え時間を短縮してスループットを向上できた。

【0017】また、ガス流量コントローラが一定流量を保持できる最短時間を50ms以下にしたために、ガスの切り替え時間が短くなり、かつガス導入をパルス状に行なうことができるようになった。その結果、タイムモジュレーションエッチングなどのガス切り替えを頻繁に行なうエッチングで、1ステップの時間を100ms以下にできるようになった。エッチング速度が1200nm/minのエッチングで1ステップの時間を例えば10

った。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明においては、ドライエッチング装置の排気系の構成をポンプの排気速度を2500 1/s、望ましくは4000 1/sにし、排気系のコンダクタンス2000 1/s、望ましくは3000 1/sとし、装置全体の実効排気速度を1300 1/s以上にした。

【0010】また、従来のドライエッチング装置の容積を、ガスの滞在時間が100ms以下になるように設計した。すなわち、

…(2)

てからガスBのエッチングを行わないと、切り換え前後のガスが混合してエッチング特性が劣化する。

【0013】ガス停止から排出終了までの間に圧力は図2のように変化する。十分長い時間排気すれば到達真空度まで圧力は下がる。しかし、それではスループットが極端に悪くなるので、実用上は、95%程度ガス排出が終了する時点で次のガスを導入する。

【0014】ガス停止から排出終了時までの圧力変化は、圧力をP、実効排気速度をS、装置の容積をVとすると、

…(3)

なるまでの時間(排出時間)は、

…(4)

…(5)

msとすると、1ステップのエッチング量は0.2nmと、1原子層程度になる。すなわち、ガス導入およびガス切り替え時間を短くしてパルス状にガスを導入できるようになったために、数原子層程度の制御が可能なエッチングを行なうことができるようになった。

【0018】さらに、ガス流量コントローラとともに放電手段、排気速度を変える手段を一括制御するので、高精度のエッチングを高スループットで行なえるようになった。

【0019】さらに、試料を観察手段を設けたために、エッチング形状をモニタしながら高精度エッチングを行なうことができる。その際、ガス停止・圧力低下に要する時間を100ms以下にできたために、スループットを落すことなくエッチングができるようになった。

【0020】

【実施例】

〈実施例1〉本発明によるドライエッチング装置の一実施例を図1に示す。この装置では、真空処理室1にエッチングガスを導入し、マイクロ波発生器2において2.45GHzの高周波を発生させ、この高周波を導波管3により放電部4に輸送してガスプラズマ5を発生させる。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル

6を放電部周囲に配置し、875ガウスの磁場による電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance: ECRともいう)を用いて高密度プラズマを発生させた。放電部4には試料台7があり、この上にウェハ8を設置してガスプラズマ5によりエッチング処理をする。

【0021】エッチングガスは、ガス導入口9から放電部4、真空処理室1を経て排気管10から排気ポンプ11により真空処理室1外へ排出される。この際、コンダクタンスバルブ12により、排気速度を変えることができる。

【0022】ウェハを設置する試料台7には冷却機構16を備え、ウェハを0℃以下に冷却することができる。さらにRF電源17により400kHzから13.56MHzのRFバイアスを印加できる。

【0023】真空処理室1にはヒータ18を設けて、真

$$1/\text{実効排気速度} = 1/\text{ポンプの排気速度} + 1/\text{総排気コンダクタンス}$$

…(6)

で求めることができ、本実施例では実効排気速度は2000 1/sである。また真空処理室1内のガスの滞在時間が50msecとなるように、放電部4、真空処理室1、排気管10の総容積を1001と小さく設計した。その結果、排出時間を短縮でき、例えば95%排出に要する時間で200ms程度になった。従来の装置は95%排出に1~6s程度かかっていたのに比べると、排出時間を1/5~1/30に短縮できた。そのためにガス切り替えに要する時間を短くなり、エッチングのスループットが向上した。

【0025】処理ガスはガス流量コントローラ13a, b, cを通しガス配管14a, b, cを経て、ガス導入口9からメッシュ状に小孔の開いたバッファ室15を通して放電部へ導入するようした。バッファ室15を設けたことと、メッシュ状の小孔によりガス開口面積を広くしたことにより、ガス導入時のガス流速を音速の1/3以下とし、かつ均一な流れにできた。また各々のガス配管14a, b, cから放電部4にガスを導入するときに、2個所以上のガス導入口9を放電部中心軸に対して対称に配置した。このことにより、ガスプラズマ5中のガス分布の片寄りを抑えることができる。

【0026】処理ガスを切り替えて放電部4に流すために、複数のガス流量コントローラ13およびガス配管14を設けた。各々の配管系には異なる種類のガス源をつないだ。もちろん配管系にガス混合装置を取り付けて、混合ガスを流せるようにしてもよい。

【0027】本実施例では三つの配管系を設置した。配管系のガス流量コントローラ13a, b, cが一定流量を保持できる最短時間は、ガスの排出時間と同程度のものをを用いた。その結果、排出完了とともに直ちにガス種を交換することができるようになった。ガス流量コントローラ13が一定流量を保持できる最短時間をガスの排

気処理室1を50℃以上に加熱するベーキング処理ができるようにした。その結果、真空処理室1の壁面の残留ガス成分や、比較的蒸気圧の低い反応生成物の堆積物などを除去して、到達圧力を0.5μtorr以下と、従来の1/10以下にできた。そのためエッチング動作圧力を0.5mtorrと低圧力エッチングを行っても不純物ガス成分を1/1000以下に抑えたクリーンなエッチングをすることができる。

【0024】排気ポンプ11には排気速度2000 1/sのターボ分子ポンプ2台を用い、総排気速度を4000 1/sにして放電部4の中心軸に対して対称に配置した。ガスの通路である放電部4、真空処理室1、排気管10およびコンダクタンスバルブ12の総排気コンダクタンスが4000 1/sとなるように設計した。実効排気速度は、

出時間と同程度にする効果について、例えば、ガス流量コントローラ13aと13bを用いて、ガスAとガスBを交互に切り替えて放電部4に流す場合について述べる。

【0028】ガス流量コントローラ13が一定流量を保持できる最短時間が200msであれば、図5のようなタイミングでパルス状にガスを流すことが可能である。もし、ガス流量コントローラ13が一定流量を保持できる最短時間が1s程度と遅ければ、流量コントロールを1s以下で切り替えることができないので、図6(a)のようにパルスの長さおよび間隔を1s以下にすることができない。もし、ガス流量コントローラ13aが一定流量を保持できる最短時間200msで、ガス流量コントローラ13bが一定流量を保持できる最短時間1sと性能が異なるものを用いると、図6(b)に示すように、ガスAは十分排出されているのに、ガスBを流すことができず、未動作時間が生じてしまう。

【0029】一定流量を保持できる最短時間が排出時間と同程度のガス流量コントローラを用いれば、本発明の効果である、排出時間の短縮を最大限に生かすことができる。もちろんガス配管系の数を多く設置して、未動作時間等の時間を短縮することができる。しかし、その場合はパルスのようにガスを流すことができないため、デジタルエッチング等のパルスエッチング固有の効果は期待できなくなる。

【0030】本発明ではガス滞在時間を10ms以下にし、応答時間が10ms以下のピエゾバルブをガス導入コントローラに使うことにより、通常のエッチング動作圧力で10ラングミュー以下のガス露出もできるようになった。ここで1ラングミューとは固体表面へのガス露出量を示す単位であり、1s×1μtorrで定義される量である。1μtorrのガス雰囲気下では1sで固体表

面1層分の原子数と同程度のガス粒子が入射するので、ガス露出量が1ラングミュアであるということは、固体表面一層分と同程度のガス粒子が入射することを意味する。ガス露出量を10ラングミュア以下にできるということは、1回のパルス状ガス導入でガス粒子を試料へ表面10原子層分以下の量に制御して入射させることができることを意味する。例えば動作圧力1mtorrでは10msで10ラングミュアに相当する。従来のドライエッチング装置ではガス滞在時間が1s程度であったので、このように短い時間のパルスで圧力制御できなかった。またガス導入コントローラが一定流量を保持できる最短時間が1s程度であったので、10msという短いパルス時間のガス導入ができなかった。

【0031】本発明では、パルスガス導入により、エッチングガスを一原子層以下の精度で試料表面に導入できるようになったので、高精度のエッチングができるようになった。もちろん動作圧力に応じて、ガス導入コントローラに必要な一定流量を保持できる最短時間は異なる。また、必要な一定流量を保持できる最短時間が得られれば、他の種類のガス導入コントローラを用いてもよい。

【0032】ガス流量コントローラ13a, b, cのガス流量及びガス流入のタイミングは、ガス切り替え制御器22により制御できるようにした。ガス流入のタイミングをさらに制御するには、ガス配管14中にストップバルブを設けて、その開閉もガス切り替え制御器22で制御できるようにしてもよい。

【0033】ガス切り替え制御器22を一括制御器23につなぎ、一括制御器23からの制御信号によりガス切り替え制御器22の動作タイミングを制御できるようにした。さらに一括制御器23をマイクロ波発生器2、RF電源17、およびコンダクタンスバルブ12ともつないで、これらの動作条件・動作タイミングを一括制御できるようにした。このようにガス切り替え制御器22、および一括制御器23を取り付けることにより、ガス切り替えを効率よく行うことができる。さらにマイクロ波やRFバイアス等も同時に制御できるので、タイムモジュレーションエッチングやマルチステップエッチングを高スループット・高精度に行うことができる。

【0034】一括制御器23に記憶手段を取り付け、コンダクタンスバルブ12の開度と実効排気速度との関係を記憶しておけば、排出時間を求めることができる。圧力制御のためにコンダクタンスバルブ13を制御しながらガスを切り替えるときに、あらかじめ記憶した排出時間を用いることにより、ガス切り替えを高精度に行うことができる。例えば、図3のようにガス切り替え時にガス流を中断しないと圧力変化により排出終了をモニタすることができない。排出時間があらかじめわかっているならば、その間だけμ波を停止するなどをして、ガス混合の影響を抑えることができる。

【0035】〈実施例2〉従来のタイムモジュレーションエッチングでは1ステップの時間が長かったために、エッチングステップ中にサイドエッチングが生じる。このサイドエッチングを抑えるためにデポ膜形成を行なっているが、サイドエッチングとデポジションが交互に生じて、側壁に段差がついてしまった。この段差上に容量膜等を成長させると、膜厚が不均一になる、リーク電流が大きい等の問題が生じる。そこで本実施例では、側壁に段差を生じさせない、ガス導入に超高速パルスを用いたタイムモジュレーションエッチングについて説明する。本実施例ではガス導入を100ms以下、望ましくは10ms程度の超高速パルスで行なうことにより、側壁が垂直でかつ平坦なタイムモジュレーションエッチングが可能になった。

【0036】ガス導入を止めてからガスを95%排出するには、作用の節で述べたように、ガス滞在時間の4倍の時間がかかる。ガス導入を10msのパルスでも可能にするためには、ガス滞在時間はその1/4の2.5ms以下にする必要がある。そこで本実施例では、装置構成は、実施例1と同様、図1に示した構成になっているが、真空処理室1の体積は10lとし、ポンプの排気速度を10000 l/s、総排気コンダクタンスを10000 l/sとした。実効排気速度は5000 l/s、ガス滞在時間2msである。

【0037】ガス導入に超高速パルスを用いたタイムモジュレーションエッチングの一実施例として、Cl<sub>2</sub>ガスプラズマにより原子層レベルのエッチングをし、O<sub>2</sub>ガスプラズマにより原子層レベルの側壁保護膜を形成するSiのトレンチエッチングについて説明する。

【0038】本実施例で用いた試料は図11(a)に示すように、Si基板25上にSiO<sub>2</sub>マスク24をパターニングしたものを用いた。パターン幅は0.1μm、SiO<sub>2</sub>マスク24の厚さは500nmである。

【0039】タイムモジュレーションエッチングの第1ステップは、Cl<sub>2</sub>ガスプラズマによるSiエッチングである。エッチング時の圧力は0.5mtorrとした。この時のガス流量は200sccmと、高真空・高排気速度エッチングの条件とした。μ波パワー500W、RFバイアスは2MHzで20W、ウエハ温度は10℃とした。この時のSiのエッチング速度は1400nm/min、SiO<sub>2</sub>とのエッチング選択比(Si/SiO<sub>2</sub>)は50であった。ただしエッチング開始直後にはSi表面にはごく薄い酸化膜26が存在する。この膜はRFバイアスをかけないとほとんどエッチングされないが、RFバイアスを2MHzで20W印加する本条件でのエッチング速度は1割程度の減少のみだった。

【0040】ウエハ温度が10℃の時には、Cl<sub>2</sub>ガスプラズマによるSiエッチングではサイドエッチングが起きてしまう。しかし、サイドエッチングの速度に比べれば垂直方向のエッチング速度は十分大きいので、Si

数原子層分のエッチング中にはサイドエッチングはほとんど入らない。Si 1 原子層の厚さは0.2 nm 程度であるから、10 ms の時間だけエッチングすれば、図11 (b) のようにSi 1 原子層分だけエッチングすることができる。

【0041】ここでガス流量コントローラ13によりCl<sub>2</sub> ガスを止め、O<sub>2</sub> ガスを流す。Cl<sub>2</sub> ガスは8 ms 後には95%排出される。Cl<sub>2</sub> ガスを止める前にμ波を止めれば放電は止まり、1 原子層分だけのエッチングのみが進む。この時にμ波を止めなくとも8 ms 後には圧力低下で放電は止まるので、μ波を停止する必要はない。ただし、O<sub>2</sub> ガスを流す前にCl<sub>2</sub> ガスを十分排出しなければならない。

【0042】次のステップはO<sub>2</sub> ガスプラズマによる処理で、表面にはごく薄い酸化膜26が形成される(図11 (c))。この時の放電条件は、圧力0.5 mtorr、ガス流量200 sccm、μ波パワー500 Wとした。側壁表面の酸化膜26はサイドエッチングを抑える。その厚さは数原子層分程度でよいので、処理時間は10 ms から100 ms 程度でよい。ただしこの処理時にRFバイアスを印加すると酸素イオンが高いエネルギーで底面に入射し、酸化状態の進んだ厚い酸化膜が底面に形成されてしまう。そのためエッチング反応が阻害されてしまう。O<sub>2</sub> ガスプラズマ処理ではRFバイアスをゼロにするのがよい。

【0043】O<sub>2</sub> ガスプラズマ処理後には、O<sub>2</sub> ガス導入を停止し、Cl<sub>2</sub> ガスを流す。8 ms 後にはO<sub>2</sub> ガスの95%が排出されて、次のステップに進むことができる。以上のステップが本実施例の一周期である。

【0044】次のステップは上でも述べたCl<sub>2</sub> ガスプラズマによるSi 1 原子層分のエッチングである。この時に図11 (d) に示すように側壁の酸化膜26が側壁保護膜になる。あらたにエッチングされた部分は原子層程度のエッチング量なので、サイドエッチングは入らない。

【0045】以上のステップを繰り返すことにより、側壁には薄い酸化膜が形成されて、サイドエッチングを抑える。またCl<sub>2</sub> ガスプラズマによるエッチング1 ステップでのエッチング量をSi 原子層1 層分としたためにエッチングステップでもサイドエッチングが入らない。以上の効果により、サイドエッチングが入らず、かつ側壁が平坦なトレンチエッチングをすることができた。Si O<sub>2</sub> マスク24に対する選択比は50、エッチングステップ中のエッチング速度は1200 nm/min、1 μm 深さのトレンチを3分のエッチングで行なうことができた。

【0046】本実施例ではエッチング1 ステップにおけるエッチング量を原子層1 層分程度に制御するために、ガスパルス幅を10 ms 程度に制御した。1 ステップのエッチング量は原子層10 層分程度まで増やしてもサイ

ドエッチングは高々1~2層分ぐらいしか入らない。それゆえエッチングステップを100 ms 程度にしても同様な効果がある。O<sub>2</sub> ガスプラズマによる酸化処理も100 ms 程度までなら、酸化膜による底面のエッチングの阻害はエッチング速度が数割減少する程度である。つまり、ガスパルス幅を100 ms 程度でも本実施例と同様の効果がある。この場合はガス滞在時間を20 ms 程度に装置設計ができるので、排気速度の小さなポンプを用いることができる。

【0047】従来はSi トレンチエッチングにCl<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>の混合ガスを用いていた。この従来の方法では反応生成物がO<sub>2</sub> と反応して酸化物がデポ物としてウェハ上に堆積した。このデポ物は側壁保護膜として作用して、異方性エッチングを可能とする。しかしこのデポ物はパターン幅の減少やパーティクル汚染の原因にもなっていた。本実施例では1 ステップのエッチング量が数原子層であること、反応生成物にO<sub>2</sub> が作用しないためにデポ物の形成が抑えられることとの二つの作用により、デポ物の影響が生じない。

【0048】本実施例ではCl<sub>2</sub> ガスとO<sub>2</sub> ガスによるSi トレンチエッチングについて説明したが、poly-Si のゲートエッチングなどにも効果がある。またガスの組合せもエッチング性のガスと膜形成をする(デポジション性)ガスとの組合せであれば、同様の効果がある。

【0049】〈実施例3〉本発明のドライエッチング方法の一実施例として、タイムモジュレーションエッチングについて説明する。

【0050】タイムモジュレーションエッチングは、エッチング性ガスとデポジション性ガスを交互に切り替えてエッチング処理を行う。その結果、マイクロローディング効果を抑えることができる。

【0051】従来のタイムモジュレーションエッチングのタイムチャートを図8に示した。この例は特開平2-105413 号公報の一実施例である。この例ではエッチングガスとデポジションガスを交互に切り替えてエッチングする。デポジションガスを流すのは、ウェハ上にデポジションを起こすのが目的である。しかし、ガス切り替え直後はエッチングガスが残留しているので、切り替え直後にμ波放電を起こすとエッチングガスの影響が出て、デポジションでなくエッチングが起きたりする問題が生じる。例えば、エッチング用ガスとしてSF<sub>6</sub>ガスを用い、デポジション用ガスとしてCCl<sub>4</sub>ガスを用いて多結晶Si をエッチングするときには、デポジション用ガス中に5%以上のエッチング用ガスが含まれていると、タイムモジュレーションエッチングの特性が劣化する。そのため、エッチング用ガスの95%を排出してからデポジションを行わなければならない。

【0052】図4に示したように、95%のガスを排出するためにはガスの滞在時間の4倍の時間を要する。従来のドライエッチング装置では、ガスの滞在時間は1.

5 s程度であった。そのため排出時間は少なくとも6 s必要であった。図8に示した例では、9 s間 $\mu$ 波放電を停止している。

【0053】本発明では実効排気速度を2000 1/sと大きくし、ガス滞在時間は50 msと短くしたので、排出時間を短くすることができた。その効果を図7に示した。

【0054】従来のドライエッチング装置ではガスの滞在時間は1秒程度もしくはそれ以上であったので、95%排気を行うには数秒程度の排出時間を要した。これに対し本発明では滞在時間を100 ms以下にしたので、排出時間は0.2 s程度、もしくはそれ以下にすることができた。図中には従来のドライエッチング装置の一実施例として特開平2-105413号公報の性能と、本実施例の性能を示してある。この例では排出時間を1/100に短縮できた。

【0055】本発明によるタイムモジュレーションの一実施例のタイムチャートを図9に示す。従来はデポジションガスを流してから9 s間 $\mu$ 波放電を停止していたのに対し、本実施例では排出時間を0.2 s程度にできたので、 $\mu$ 波放電停止期間は0.2 s程度でよいことになる。そこで拡大図に示したように、エッチングガスとデポジションガスの切り替え時に0.2 sの時間間隔をおいた。この間にガスは容器外に急速に排気されるので、 $\mu$ 波を停止しなくても短時間(0.2 s程度)でガス放電は止まる。一つのエッチングステップは3 sであるから、 $\mu$ 波を停止せずにガス排気により放電を止めても影響はほとんどない。 $\mu$ 波発生装置をオン・オフした直後は電源系などが不安定なので、 $\mu$ 波を停止しなければ、その不安定によるエッチング特性の劣化を防ぐことができる。

【0056】以上のように従来9 s放電を止めていた時間を0.2 sまで短縮できた。従来は4サイクルに52 sかかっていたが、本実施例は16 sと、エッチングのトータル時間は70%短縮できた。本実施例では多結晶Siエッチングについて説明したが、タイムモジュレートエッチングが有効なエッチング材料すべてに同様な効果がある。

【0057】本実施例では放電が停止するのは4 s中0.2 sと短いので、放電による加熱のために従来例よりもウェハ温度が高くなるという問題がある。しかし、ウェハを試料台に固定する手段として静電吸着を用いれば、冷却効率が上がり、実用上は問題なくなる。もちろんサイクル間の無放電時間を伸ばして、ウェハ温度が上がらないようにしてもよい。

【0058】〈実施例4〉本発明のドライエッチング方法の他の一実施例であるマルチステップエッチングについて説明する。

【0059】マルチステップエッチングとは、一回のエッチング中にガスを切り替えるエッチングである。例え

ば、1ステップ目に異方性エッチング用のガスを流し、2ステップ目にデポジション性のガスにより側壁保護をし、3ステップ目には等方的なエッチングガスにより段差上のエッチング残りを取り除く。

【0060】静電吸着を用いてウェハを固定する場合にも、ガスの切り替えを行う。ウェハを試料台に静電吸着させる時、及び静電吸着からはずすときには、ウェハに電荷をためたり放出させたりしなければならない。この電荷の移動を行う一方法は、ウェハ上方でプラズマを発生させることである。

【0061】ウェハを試料台に静電吸着させるときには、まだウェハと試料台の密着性は悪い。そのため熱伝導が悪く、ウェハ温度はプラズマからの熱で上昇する。それゆえ静電吸着させるためにエッチング性ガスのプラズマを用いると、サイドエッチング等が入ったりする。また静電吸着をはずすときにエッチング性ガスのプラズマを用いると、オーバーエッチングが進みすぎる等の問題が生じる。そのため静電吸着の着脱時には、不活性ガスプラズマを用いることが望ましい。

【0062】静電吸着を用いて3ステップのマルチステップエッチングを行うときには、ガスの切り替えを4回行うことになる。従来のドライエッチングでは1回のガス切り替えのために、6 s程度の排出時間が必要だった。つまりウェハ1枚あたり24 sが、ガス切り替えに伴うガス排出に必要だった。ウェハ1枚あたりのエッチング時間は30 s程度であり、ガスの切り替えにエッチングと同じ程度を要していた。

【0063】本実施例ではガス排出時間を0.2 s以下にしたために、1回のガス切り替え時間を0.2 s以下にすることができた。その結果、ウェハ1枚あたりでガス切り替えを0.8 sでできるようになった。トータルのエッチング時間は従来の54 sから31 sと43%短縮でき、スループットが向上した。

【0064】〈実施例5〉本発明によるドライエッチング方法の一実施例について説明する。本実施例はエッチング中にエッチング形状等を観察を同時に行うものである。エッチング形状は従来、エッチング終了後に電子顕微鏡を用いて観察していた。エッチング装置に電子顕微鏡を取り付ければ、エッチング中にも形状観察ができる。しかし電子顕微鏡観察はプラズマを止め、かつ圧力を10  $\mu$ torr以下、望ましくは1  $\mu$ torr以下にしなければならない。エッチング圧力が1 mtorrの時に、ガスを止めて1  $\mu$ torrまで排出するのに要する時間は、排出前後の圧力比が1000であるから、図10に示すように、ガス滞在時間の7倍程度の時間がかかる。従来のドライエッチング装置ではガス滞在時間は1 s程度なので、ガス排出には10 s程度かかる。そのためエッチング中に電子顕微鏡観察を行うと、ガス排出の時間だけスループットが悪くなる。

【0065】本実施例ではガス滞在時間を50 msとし



たので、電子顕微鏡観察のためのガス排出時間は0.4 s 以下になる。このように本実施例ではガス排出に要する時間を短縮したために、エッチング中の電子顕微鏡観察によるスループットの低下を最小限に抑えることができた。その結果、エッチング形状やエッチング残りをモニタしながらエッチングを行うことができるために、高精度のエッチングができるようになった。

【0066】本発明の効果はエッチング中の電子顕微鏡観察のほか、高真空中で行う表面分析等の観察を行いながらエッチングするときにも、同様の効果がある。

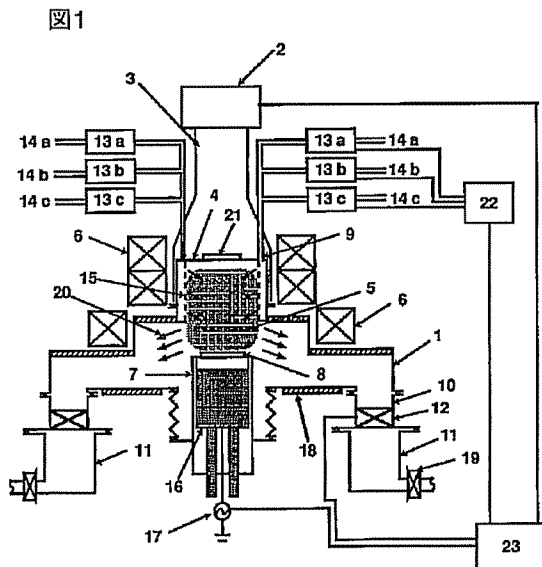
【0067】

【発明の効果】本発明によれば、超高速ガスパルスを用いたタイムモジュレーションエッチングにより、異方性が高く、かつ側壁形状が平坦なエッチングを行なうことができる。また、本発明によれば、ガスの切り替えに要する時間を従来の1/100以下にすることができるので、タイムモジュレートエッチングマルチステップエッチングなど、高異方性エッチングを高スループットで行うことができる。本発明によれば、高真空を必要とする分析を行いながらのエッチングを高スループットで行うことができるため、エッチング制御を高精度に行うことができる。さらに、本発明の効果は前述のエッチング装置に限らず、例えば、RIE、マグネトロン型RIE、ヘリコン共振型RIE等のほかの装置についても、同様の効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例であるドライエッチング装置

【図1】



の断面図。

【図2】ガス切り替え時のタイムチャート。

【図3】ガス切り替えのタイムチャート。

【図4】排出ガスの割合と、圧力比の自然対数との関係を示した特性図。

【図5】ガス切り替えのタイムチャート。

【図6】ガス切り替えのタイムチャート。

【図7】ガス滞在時間と排出時間との関係を示したタイムチャート。

【図8】従来のタイムモジュレートエッチングのタイムチャート。

【図9】本発明によるタイムモジュレーションエッチングのタイムチャート。

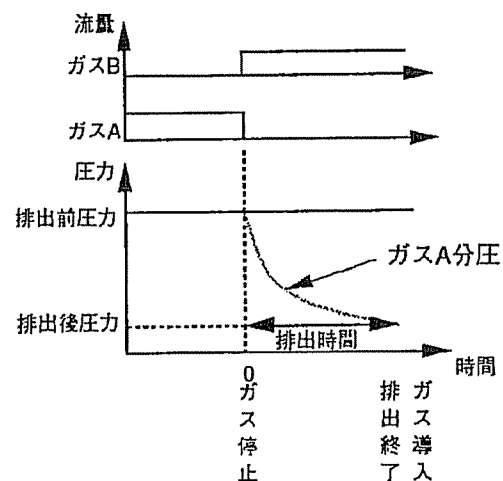
【図10】排出前後の圧力比とその自然対数との関係を示した説明図。

【図11】超高速ガスパルスタイムモジュレーションエッチングの一実施例の工程図。

【符号の説明】

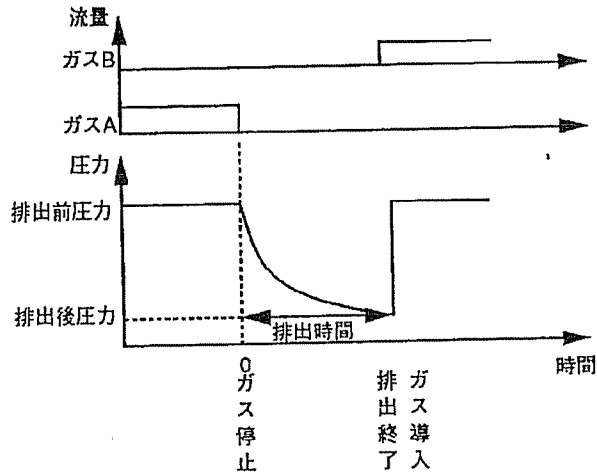
1…真空処理室、2…マイクロ波発生器、3…導波管、4…放電部、5…ガスプラズマ、6…ソレノイドコイル、7…試料台、8…ウェハ、9…ガス導入口、10…排気管、11…排気ポンプ、12…コンダクタンスバルブ、13a, b, c…ガス流量コントローラ、14a, b, c…ガス配管、15…バフファ室、16…冷却機構、17…RF電源、18…ヒータ、19…バタフライバルブ、20…ガスの流れ、21…マイクロ波導入窓。

【図3】



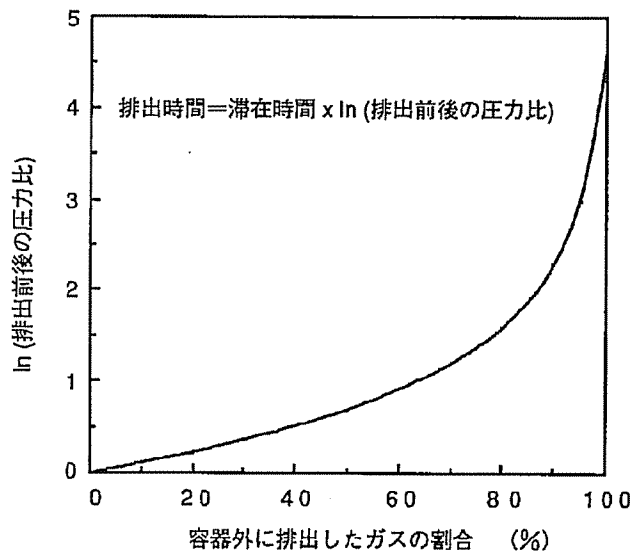
【図2】

図2



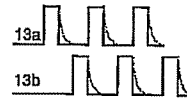
【図4】

図4



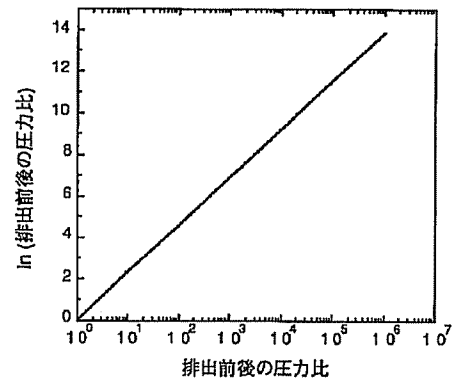
【図5】

図5



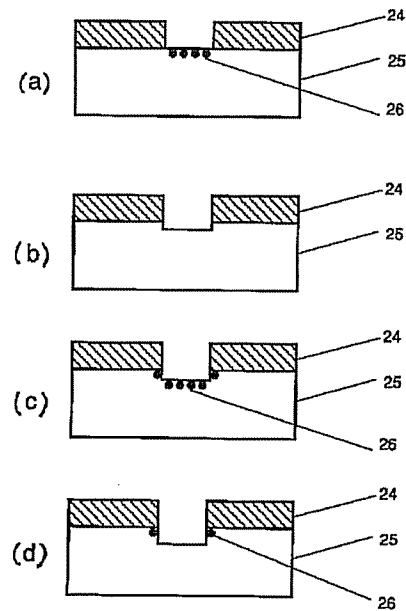
【図10】

図10

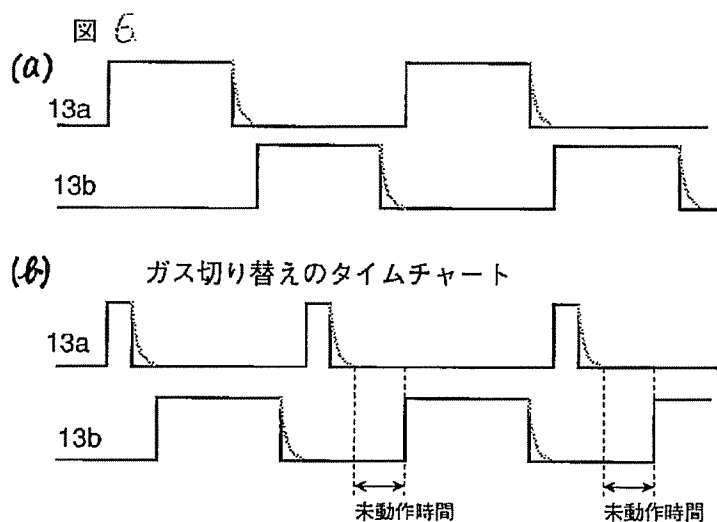


【図11】

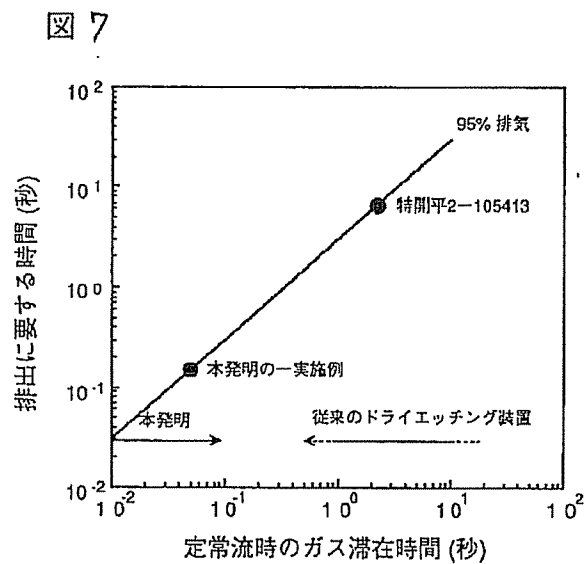
図11



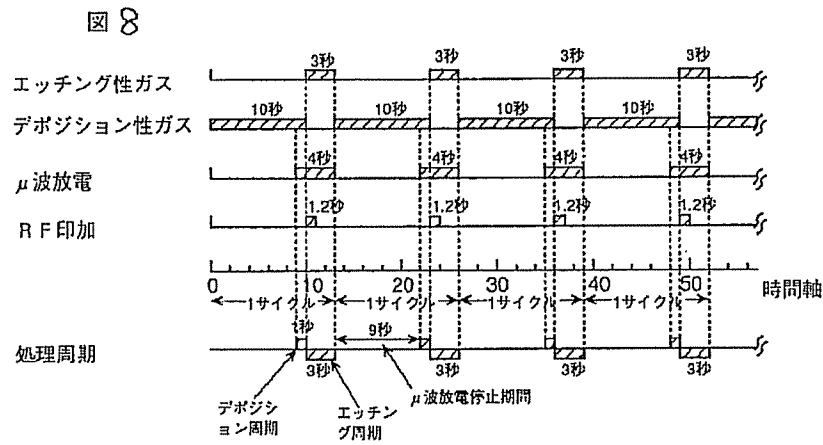
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

図 9

